

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-245562

(43)Date of publication of application : 02.09.1992

(51)Int.Cl.

G06F 15/332

(21)Application number : 03-031928

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 31.01.1991

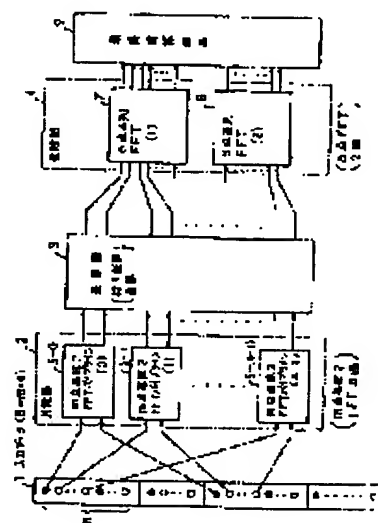
(72)Inventor : NAKAZURU TOSHIRO  
OKUYA SHIGEAKI  
KUBO SHINICHI

## (54) FAST FOURIER TRANSFORMING DEVICE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To flexibly set a degree of parallelism in accordance with the relation between the FFT (fast Fourier transformation) point and the transformation processing speed and with no waste of hardware quantity caused with regard of a fast Fourier transforming device.

**CONSTITUTION:** A preceding stage part 2 performs the Fourier transformation of a point  $N$  through (a) pieces of  $m$ -point fundamental number  $2^{\text{FET}}$  pipeline 5-0 to 5-(a-1) with  $N=m \times a$  ( $m, a$ : integers) satisfied and therefore outputs the conversion data on the point  $N$  every  $2a$  pieces. A multiplication part 3 inputs  $2a$  pieces of data outputted from the part 2 in parallel with each other and multiplies  $2a$  pieces of data by a twist coefficient. Then a post stage part 4 contains the  $a$ -point FFT circuits 7 and 8 set in parallel with each other and inputs  $2a$  pieces of data outputted from the part 3 in parallel with each other to perform the Fourier transformation.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-245562

(43) 公開日 平成4年(1992)9月2日

(51) Int. Cl.<sup>2</sup>

G 0 6 F 15/332

識別記号

庁内整理番号

A 6798-5L

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平3-31928

(22) 出願日 平成3年(1991)1月31日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 中水流 敏明

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 奥谷 茂明

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 久保 慎一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

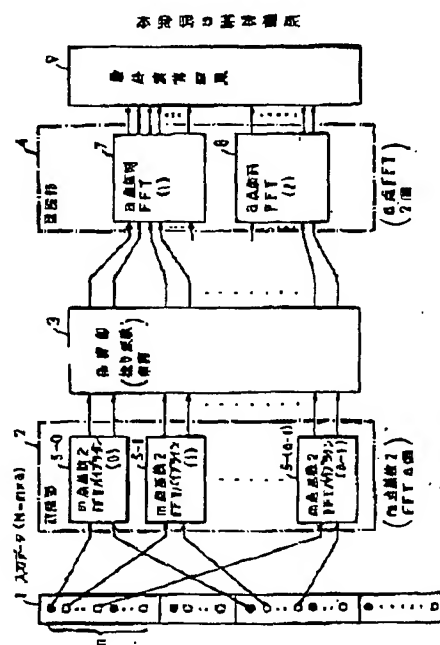
(74) 代理人 弁理士 長谷川 文廣 (外2名)

(54) 【発明の名称】 高速フーリエ変換装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、高速フーリエ変換装置に関し、FFT点数と変換処理速度の関係において応じてハードウェア量に無駄がないように柔軟に並列度を設定できるようにすることを目的とする。

【構成】  $N = m \times a$  ( $m, a$  は正整数) として  $a$  個の  $m$  点基数2FFTパイプライン5-0~5-( $a-1$ )により  $N$  点のフーリエ変換を行うことにより  $N$  点の変換データを  $2a$  個ずつ出力する前段部2と、前段部2からの出力される  $2a$  個のデータを並列に入力し、 $2a$  個のデータに捻り係数を掛ける処理を行う乗算部3と、 $2a$  個並列配置された  $a$  点FFT回路7、8を備え、それぞれ乗算部3から並列に出力される  $2a$  個のデータを並列に入力し、フーリエ変換する後段部4を備えた構成を持つ。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基数2高速フーリエ変換パイプライン装置(5-0~5-(a-1))を複数個備え、入力データ(1)を並列に入力する前段部(2)と、前段部(2)から並列に出力される各データに捻り係数を乗算する乗算部(3)と、前段部(2)における基数2高速フーリエ変換パイプライン装置(5-0~5-(a-1))の個数に等しいフーリエ変換点数の並列高速フーリエ変換装置(7, 8)を2つ備え、乗算部から並列に出力されるデータを並列に入力する後段部(4)とを備えたことを特徴とする高速フーリエ変換装置。

【請求項2】 N点の入力データに対するk番目の点の関数値をx(k)として離散フーリエ変換

【数1】

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \times W_N^{nk}$$

(但し、n=0~N-1, k=0~N-1の整数を)に  
対する高速フーリエ変換において、N=m×a (m, a\*

$$\sum_{k_j=0}^{a-1} \sum_{k_i=0}^{m-1} x(k_i, k_j) \times W_N^{(n \times m + n_j) \times (k_i + k_j)}$$

と変し、上記式において

$$X_1(n_j, k_j) = \sum_{k_i=0}^{m-1} x(k_i, k_j) \times W_m^{n_j k_i}$$

【数5】

$$X_2(n_j, k_j) = X_1(n_j, k_j) \times W_a^{n_j k_j}$$

※

$$X_3(n_j, n_i) = \sum_{k_j=0}^{a-1} X_2(n_j, k_j) \times W_a^{n_i k_j}$$

(但し、W=exp(-2πj/N), W<sub>m</sub>=exp(-2πj/m), W<sub>a</sub>=exp(-2πj/a))としたとき、前段部(2)において、

【数4】の変換処理を行い、乗算部(3)において、

【数5】の変換処理を行い、後段部(4)において、

【数6】の変換を行うことを特徴とする請求項2に記載の高速フーリエ変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は離散フーリエ変換を高速に行う高速フーリエ変換装置に関する。高速フーリエ変換装置には、フーリエ変換の対象のN個のデータを多点並列に入力し変換する方法と、基数2フーリエ変換パイプライン(基数2FFTパイプライン)により変換を行う方法がある。

【0002】前者はフーリエ変換点数(FFT点数)が大きくなると並列に入力する並列度も高くなり多数のハードウェアが必要になる。またそのようなハードウェアを用意しておいても、入力データによっては速い変換を

2

\*は正整数)として、前段部(2)はa個のm点基数2高速フーリエ変換パイプライン装置(5-0~5-(a-1))を備え、N点の変換データを2a個ずつ並列に入力してフーリエ変換処理し、乗算部は、前段部から出力される2a個のデータを並列に入力し2a個のデータに捻り係数を乗算し、後段部(4)はa点並列高速フーリエ変換装置(7~8)を2個並列に備え、乗算部(3)から並列に出力される2a個のデータを並列に入力し、フーリエ変換を行うことにより最終演算結果(9)を得ることを特徴とする請求項1に記載の高速フーリエ変換装置。

【請求項3】 請求項における高速フーリエ変換において、

$$n = m \times n_i + n_j, \quad k = a \times k_i + k_j$$

(但し、n<sub>i</sub>=0~(a-1), n<sub>j</sub>=0~(m-1), k<sub>i</sub>=0~(m-1), k<sub>j</sub>=0~(a-1)として変換対象のフーリエ変換式を

【数3】

【数4】

※【数6】

必要としない場合もあり、並列度の高いフーリエ変換回路(FFT)を用意しておくことはハードウェアの無駄となる場合がある。

【0003】また後者はハードウェア量は前者より少ないが並列度が低いためデータの入力速度が速い場合には十分対応しきれない場合がある。本発明は、FFT点数と、必要とする処理速度に応じて、ハードウェアに無駄を生じないように柔軟に並列度を定めることのできる高速フーリエ変換装置を提供することを目的とする。

【0004】

【従来の技術】図4は従来の多点並列に入力したデータをフーリエ変換する場合の構成を示す。図はFFT点数N=m×n(但しm, nは正整数)をm点ずつ並列に入力して変換する場合の構成を示す。N個のデータについてフーリエ変換する場合、まずN=m×n(m, nは正整数)のm点についてm点フーリエ変換を行う。次に、得られたm個のデータについて捻り係数を乗算する。以上の処理をn回繰り返し、得られたN点のデータを並べ替える。そして、そのN点のデータについて、m=n

3

$\times k$  ( $n, k$ は正整数)として $n$ 個ずつのデータを $k$ 個並列の $n$ 点FFTにおいて変換する。その処理を $n$ 回行うことにより、 $N$ 個のフーリエ変換結果を得る。

【0005】図において、31はデータの並び変え回路であって、時系列データを並列に並び変える回路である。32は $m$ 点のデータを並列に入力して、 $m$ 点を高速フーリエ変換する $m$ 点FFT回路である。33は $m$ 点のFFTの出力に捻り係数乗算を行う捻り係数乗算部。34は $m$ 点フーリエ変換を $n$ 回行った $N$ 個の結果のデータ並び変え回路。35～36は $n$ 点フーリエ変換回路( $n$ 点FFT回路)である。時系列の直列データ( $N=m \times n$ )はデータ並び変え回路31において並列データに並び変えられ、 $m$ 点ずつ並列に $m$ 点FFT回路32に入力される。

【0006】 $m$ 点FFT回路32により得られたデータは捻り係数乗算部33において係数を乗算する。 $m$ 個ずつの並列データを $m$ 点FFTにより $n$ 回行うことにより得られた $N$ 個のデータはデータ並び変え回路34においてデータの並び変えを行って、 $k$ 個の $n$ 点FFT回路35～36に入力され、フーリエ変換する。その処理を $n$ 回行うことにより $N$ 個の変換結果を得る。

【0007】入力点数が $m=2^s$ で表される場合には基数2のフーリエ変換を $s$ 回くり返すことにより変換結果を得ることができる。図6～図13により16点を処理する場合の基数2FFTパイプラインを説明する。図5は、基数2FFTパイプラインにおいて使用するバタフライ回路を示す。図のバタフライ回路38の動作は2つの入力 $A$ と $B$ に対して出力として $A+W^N \times B$ と $A-W^N \times B$ を得るものである(但し $W=\exp(-2\pi j/N)$ ,  $s$ は整数)。

【0008】図6は16点基数2のFFTパイプラインにおける処理の流れを示す。図において、40～41はそれぞれ16点の入力データを8点ずつ格納するレジスタである(SR1A, SR1Bについては後述する)。50はバタフライ回路(BUT1)であって、 $W=\exp(-2\pi j/16)$ ,  $s=0$ であるものである。

【0009】42～43はバタフライ回路50で変換されたデータを格納するレジスタである(SR2A, SR2Bについては後述する)。図の意味は次の通りである。16点の入力データはレジスタ40、41に入力される。そしてレジスタ40と41の点0と点8のデータがバタフライ回路50に入力され、和がレジスタ42の点0に格納される。また差のデータはレジスタ43の点0に格納される。それぞれの処理を1C0、1D0で表わす。

【0010】同様に、レジスタ40の点1とレジスタ41の点9についてバタフライ回路50において演算処理し、和をレジスタ42の点1に格納し、差をレジスタ43の点1に格納する。それぞれの処理を1C1、1D1とする。同様の処理をレジスタ0の点2～7、レジスタ

4

41の点10～15について行いレジスタ42の点2～7、レジスタ43の点2～7に格納する。それぞれの処理を1C2～1C7、1D2～1D7とする。

【0011】図7は図6における処理に続く部分を示す。図において42、43はレジスタであって、図6におけるレジスタ42、43を示す。44、45はレジスタでレジスタ42と43の各点のデータをバタフライ回路で演算した結果を格納するものである(SR3A, SR3Bについては後述)。51はバタフライ回路である( $W=\exp(-2\pi j/16)$ ,  $s=0$ もしくは4)。レジスタ42の点0のデータと、レジスタ42の点4のデータに $W^8$ を掛けた値の和と差を取り、和をレジスタ44の点0に格納し、差をレジスタ44の点4に格納する。同様の処理をレジスタ42の点1～3、レジスタ42の点5～6について行い、和をレジスタ44の点1～3、差をレジスタ44の点5～7に格納する。それぞれの和についての処理を2C0～2C3、差についての処理を2D0～2D3とする。

【0012】レジスタ43の各点についての処理では、バタフライ回路51において点0～3のデータと、レジスタ43の点4～7のデータには $W^8$ を掛けた値について和と差を取るにより行い、演算結果の和をレジスタ45の点0～3に格納し、差を点4～7に格納する。各処理において和の処理を2C4～2C7、差の処理を2D4～2D7とする。

【0013】図8は図7の結果に続く処理を表わす。44、45は図7におけるレジスタ44と45を示す。46、47はレジスタ44と45の格納データをバタフライ回路で演算処理した結果を格納するレジスタである(SR4A, SR4Bについては後述)。52はバタフライ回路である。レジスタ44の点0のデータと、レジスタ44の点2のデータに $W^8$ を掛けた値の和と差をレジスタ46の点0と点2に格納する。同様にレジスタ44の点1のデータと、レジスタ44の点3に $W^8$ を掛けた値をバタフライ回路52において和と差を取りレジスタ46の点1と点3に格納する。それぞれの処理を3C0～3C1、3D0～3D1とする。

【0014】レジスタ44の点1～点7においては、点6～7に $W^8$ を掛けてバタフライ回路52に置いて同様の処理を行いおおよび差の演算結果をレジスタ46の点4～7に格納する。それぞれの処理を3C2～3C3、3D2～3D3とする。レジスタ45の点0～点3の処理においては、点2～3に $W^8$ を掛け、バタフライ回路52に置いて同様の処理を行い和および差の演算結果をレジスタ47の点0～3に格納する。それぞれの処理を3C4～3C5、3D4～3D5とする。レジスタ45の点4～点7においては、点6～7のデータの値に $W^8$ を掛け、バタフライ回路52に置いて同様の処理を行い和および差の演算結果をレジスタ47の点4～7に格納する。それぞれの処理を3C6～3C7、3D6～3D

7とする。

【0015】図9は図8における処理の続きを示す。図において、48、49はレジスタであって、図8におけるレジスタ46と47を示す(SR4A, SR4Bについては後述する)。50、51はバタフライ回路における演算結果を格納するレジスタである。53はバタフライ回路である。レジスタ48の点0のデータと、点1のデータに $W^0$ を掛けた値の和と差をバタフライ回路により演算し、結果をそれぞれレジスタ50の点0と点1に格納する。その結果、レジスタ50の点0にはフーリエ変換した結果の $X(n)$ が $n=0$ に対応する結果が得られる。同様に、点1には $n=8$ に対応する結果が得られる。

【0016】レジスタ48、49の他の点についても、それぞれの処理において定められている図示の $s$ についての $W^s$ を掛け、バタフライ回路53において和および差を取り、レジスタ50に格納する。レジスタ50における各点に各 $n$ に対応するフーリエ変換結果 $X(n)$ が得られる。

【0017】図10～図11に、16点基数2FFTパイプラインの構成を示す。図10において、801は直列ビットの入力データ、801'はそれぞれ16点の入力データをレジスタSR1AとレジスタSR1Bに振り分けるデマルチプレクサ(DMX)である。802、803はそれぞれ16点のデータの上位半分と下位半部分を格納するレジスタ(SR1A)、804、805はそれぞれ16点のデータの上位半分と下位半分のデータを格納するレジスタ(SR1B)である。レジスタSR1AとSR1Bにはそれぞれ格納サイクル毎に交互に16個のデータが格納される。

【0018】806はバタフライ回路(BUT1)に inputsするデータをレジスタSR1AもしくはSR1Bからのデータに切り換えるスイッチ(SW)である。807、808はマルチプレクサ(MPX)であって、それぞれバタフライ回路に入力するデータをレジスタSR1AもしくはSR1Bからのデータに切り換えるものである。809はバタフライ回路(BUT1)であって、入力Aのデータと、入力Bに捻り係数 $W^0$ を掛けたデータについて和と差を取る回路である。810は入力データに乗算する捻り係数である。

【0019】811はバタフライ回路809の差の演算結果を格納するレジスタ(SR2B)である。812は選択するデータを切り換えるための切り換えスイッチ、813、814は切り換えスイッチのマルチプレクサ(MPX)である。815はMPX813が選択した側のデータを格納するレジスタ(SR2A)、816はバタフライ回路(BUT2)であって、レジスタSR2Aのデータとマルチプレクサ814の選択するデータ(入力B)を入力し、入力Bに捻り係数( $W^0$ ,  $W^1$ )を掛け、入力AとBの和と差の演算を行うものである。81

7は入力Bの乗算係数( $W^0$ ,  $W^1$ )を定めるものであって、例えば、パイプラインの処理クロックサイクルにおける4サイクルについては $W^0$ を掛け、続く4サイクルにおいては $W^1$ を掛けるように循環するものである。

【0020】図11において、901はレジスタ(SR3B)、902はデータを選択する切り換えスイッチ(SW)、903、904はデータを選択するマルチプレクサ(MPX)である。905はシフトレジスタ(SR3A)、906は入力Aのデータと、入力Bに捻り係数を掛けたデータについて和と差をとるバタフライ回路である。906'は入力Bの捻り係数( $W^0$ ,  $W^1$ ,  $W^1$ ,  $W^0$ )を定めるものであって、パイプラインのクロックに従って上記の順番に循環するものである。

【0021】907はシフトレジスタ(SR4A)である。908はデータを選択する切り換えスイッチ(SW)、909、910はデータを選択するマルチプレクサ(MPX)である。911はシフトレジスタ(SR4B)、912は入力Aのデータと、入力Bに捻り係数を掛けた結果について和と差をとるバタフライ回路である。913は入力Bの捻り係数( $W^0$ ,  $W^1$ ,  $W^1$ ,  $W^0$ ,  $W^1$ ,  $W^0$ ,  $W^0$ ,  $W^1$ )を定めるものであって、パイプラインのクロックに従って上記の順番に循環するものである。

【0022】図12と図13により図10と図11の2点基数FFTパイプラインの動作を説明する。図12はパイプラインにおける第1サイクル、図13は第2サイクルを示す。

【0023】図12と図13において、SR1AW, SR2AW, SR3AWはそれぞれレジスタSR1A, SR2A, SR3Aの書き込みを表わす。SR1BW, SR2BW, SR3BWはそれぞれSR1B, SR2B, SR3Bの書き込みを表わす。SR1AR, SR2AR, SR3ARはそれぞれレジスタSR1A, SR2A, SR3Aの読み出しを表わす。SR1BR, SR2BR, SR3BRはそれぞれSR1B, SR2B, SR3Bの読み出しを表わす。

【0024】BUT1out, BUT2out, BUT3outはそれぞれバタフライ回路BUT1, BUT2, BUT3の出力を表わす。第1サイクル(1st)におけるクロックサイクル1～2において、SR1Bは0番目(0点データ)と8番目(8点データ)を読み出す(それぞれ前の処理サイクルにおいてSR1Bに格納されている)。そしてそれぞれのデータをバタフライ回路(BUT1)に入力しクロックサイクル3～4において演算(1C0, 1D0)を行いクロックサイクル4～5において結果をSR2A, SR2Bに格納する。同様の処理をクロックCまで行い、各演算結果をSR2A, SR2Bに各データを格納する。

【0025】第1サイクルにおけるクロックD, Eにおいて、SR2Aに格納された処理1C0におけるデータ

7

とBUT1により出力される処理1C4のデータはそれぞれBUT2(816)に入力される(1C4のデータはマルチプレクサ814を介してBUT2の端子Bに入力され、SR2AのデータはBUT2入力端子Aに入力される)。そして、第1サイクルのクロックF～第2サイクルのクロック0において処理2C0、2D0がなされ、第2サイクルのクロック1～2においてそれぞれレジスタSR3A、SR3Bに格納される。

【0026】第1サイクルのクロックD～EにおいてSR2Bに書き込まれたデータはSR2Aに転送され、第2サイクルのクロック5～6においてSR2Aに格納されたデータ(1D0)がBUT2の入力Aに入力され、同時にSR2Bのデータ(1D4)がBUT2に入力される。そして、第2サイクルのクロック5、6において読み出されクロック7、8において演算処理され、結果がクロック9～AにおいてSR3AとSR3Bに格納される。同様の処理が各クロックサイクルにおいて順次行われ、最終演算結果がBUT4より出力される。

【0027】

【発明が解決しようとする課題】前述したように、大きい並列度のハードウェアを構成することは、処理速度は速くできるが、多量のハードウェアを必要とし、またデータの入力速度が遅い場合には基数2FFTパイプラインでは十分対応しきれない場合が生じることがある。本発明は、FFT点数と必要とする処理速度に応じて、ハードウェアに無駄が生じないように必要とする並列度を柔軟に定めることのできる高速フーリエ変換装置を提供することを目的とする。

【0028】

【課題を解決するための手段】本発明は、フーリエ変換すべき入力データが最初に入力される前段部に基数2FFTパイプラインを複数並列配置して並列処理し、後段部に、前段部において並列配置した基数2FFTパイプラインの数に等しい点数の並列FFTを2個配置し、比較的少ないハードウェアで高速処理できるようにした。

【0029】図1は本発明の基本構成図を示す。図はm点基数2FFTパイプラインをa個並列に配置して $N=m \times a$ 個のデータをフーリエ変換する場合の構成を示す。入力データ点数、並列度はこの例に限られるものではない。

【0030】図において、1はフーリエ変換する入力データであって $N=m \times a$ であるものである。2は基数2FFTパイプラインをa個並列配置した前段部である。3は乗算部であって、前段部から並列に出力されるデータに捻り係数を乗算する乗算部である。4は前段部において並列配置した基数2FFTパイプラインの数に等しい処理点数(a点)の並列FFTを2個配置したものである。5-0～5-(a-1)は基数2FFTパイプラインである。7～8はa点FFT回路である。

【0031】

8

【作用】N点のフーリエ変換。

【数1】 $\dots\dots\dots$ ①(但し、 $n=0 \sim N-1$ ,  $k=0 \sim N-1$ の整数)において、変換すべきN個の点を $m \times a$ に分解する( $m$ ,  $a$ は整数)。

そして、 $n=m \times n_i + n_j$ ,  $k=a \times k_i + k_j$   
(但し、 $n_i=0 \sim (a-1)$ ,  $n_j=0 \sim (m-1)$ ,  $k_i=0 \sim (m-1)$ ,  $k_j=0 \sim (a-1)$ )  
とすると、式①は

【0032】 $X(n)$   
 $=X(n_i, n_j) =$

【数2】

$$\sum_{k_j=0}^{a-1} \left[ \sum_{k_i=0}^{m-1} x(k_i, k_j) \times W_m^{-n_i k_i} \right]$$

$$\times W_m^{-n_j k_j} \times W_a^{-n_i k_i}$$

$\dots\dots\dots$ ②と表わす事ができる(但し、 $W_a = e^{x p(-2\pi j/N)}$ ,  $W_m = e^{x p(-2\pi j/m)}$ ,  $W_a = e^{x p(-2\pi j/a)}$ )。

上記式において

【数4】 $\dots\dots\dots$ ③

【数5】 $\dots\dots\dots$ ④

【数6】 $\dots\dots\dots$ ⑤となる。

【0033】上式③は、a組のm点のフーリエ変換を表しており、 $m=2^i$ で表せるように定めれば、X1は基数2FFTパイプラインにより処理することが可能である。そこで、本発明の前段部に、m点基数2のFFTパイプラインをa個複数並列配置することにより上式④を処理する。

【0034】次に前段部の基数2のFFTパイプラインの出力を並列に入力し、捻り係数をかけることにより式④は処理することができ(捻り係数乗算処理)。次に、上記式⑤は、a点FFTを意味するので捻り係数の乗算部から出力される2a個の並列データを2個のa点並列FFTにより演算処理することが可能である。

【0035】即ち、前段部でa個のm点基数2のFFTパイプラインを用いた場合には、2a個の並列出力が得られ、その2a個のデータに捻り係数を乗算し、2個のa点並列FFTを入力することにより最終結果を得ることができる。

40 【0036】

【実施例】16点FFTを行う場合の実施例構成を図2に示す。16点FFTを並列度4ワイドで処理するとする。基数2のFFTパイプラインの並列度は2ワイドであるから、基数2FFTパイプラインが2台並列必要となる。16個のデータは2分割されるから基数2FFTパイプラインの点数は8点となる。従って、後段の2つの並列FFTの点数は2となる。以上の16点処理をするための構成を図2に示す。

【0037】図において、20は16点の入力データ、21は16点の入力データを並列度4で処理する前段

部、22は4並列に並列処理する捻り係数乗算部、23は4並列のデータより16点の最終結果を得るための後段部である。24、25はそれぞれ8点基数2のFFTパイプラインである。26～29は4つの並列に入力されるデータに捻り係数を掛算するもの、30～33は捻り係数を循環的に移動して入力データに順次捻り係数を乗算させるものである。34、35は2個の2点FFTである。36は16点の最終演算結果である。16点FFTを8×2に分解すると以下ようになる。

【0038】

【数7】

$$X(n) = \sum_{k=0}^{15} x(k) \times W^{nk}$$

.....⑥において(但し、 $n=0\sim7$ 、 $k=0\sim1$ の整数、 $W=\exp(-2\pi \times j/16)$ )  
 $n=8 \times n_i + n_j$ 、 $k=2 \times k_i + k_j$  (但し、 $n_i=0\sim1$ 、 $n_j=0\sim7$ 、 $k_i=0\sim1$ 、 $k_j=0\sim1$ )とすると、 $X(n) =$

$$X_1(n_j, k_j) = \sum_{k_i=0}^1 x(k_i, k_j) \times W_8^{n_i k_i}$$

.....⑦

【数5】

$$X_3(n_j, n_i) = \sum_{k_j=0}^7 X_2(n_j, k_j) \times W_2^{n_i k_j}$$

.....⑧

【0039】前段部において、

【数10】の変換処理をし、捻り係数乗算部において、

【数5】の変換処理を行なう。後段部において、

【数11】の変換処理を行なう。

【0040】前段部において、 $[X_1(n_j, 0)]$ は8点基数2FFTパイプライン(0)において得られる。また、 $[X_1(n_j, 1)]$ は8点基数2FFTパイプライン(1)において得られる。

【0041】図3に本発明の実施例の前段部の入力処理を示す。図において37は16点の入力データ、37-0、37-1はそれぞれ8点基数2FFTパイプラインであって、37-0は $k_j=0$ の点のデータを入力し、37-1は $k_j=1$ の点のデータを入力する。

【0042】 $[X_1(n_j, 0)]$ は、前段部における8点基数2FFTパイプライン37-0により、 $[X_1(0, 0), X_1(4, 0)]$ の組、 $[X_1(2, 0), X_1(6, 0)]$ の組、 $[X_1(1, 0), X_1(5, 0)]$ の組、 $[X_1(3, 0), X_1(7, 0)]$ の組の順で得られる。

【0043】 $[X_1(n_j, 1)]$ は、前段部における8点基数2FFTパイプライン37-1により、 $[X_1(0, 1), X_1(4, 1)]$ の組、 $[X_1(2, 1), X_1(6, 1)]$ の組、 $[X_1(1, 1), X_1(5, 1)]$ の組、 $[X_1(3, 1), X_1(7, 1)]$ の組の順で得られる。前段部出力における上記の

\*【数8】

$$\sum_{k_j=0}^1 \sum_{k_i=0}^7 x(k_i, k_j) \times W^{(8 \times n_i + n_j)(2 \times k_i + k_j)}$$

=

【数9】

$$\sum_{k_j=0}^1 \left[ \sum_{k_i=0}^7 x(k_i, k_j) \times W_8^{n_i k_i} \right]$$

$$\times W_2^{n_i k_j}$$

上式において、

【数10】

※【数11】

$$X_2(n_j, k_j) \times W_2^{n_i k_j}$$

各組のデータを入力することにより、捻り係数乗算部において、上記式⑧が処理できる。

【0044】即ち、4並列に上記出力結果がそのまま入力され、次のような順で出力が得られる。

$[X_2(0, 0), X_2(4, 0), X_2(0, 1), X_2(4, 1)]$ の組

$[X_2(2, 0), X_2(6, 0), X_2(2, 1), X_2(6, 1)]$ の組

$[X_2(1, 0), X_2(5, 0), X_2(1, 1), X_2(5, 1)]$ の組

$[X_2(3, 0), X_2(7, 0), X_2(3, 1), X_2(7, 1)]$ の組

上記の捻り係数乗算部の4並列のデータは後段部に入力され、次の順序で出力され、演算結果を得る。

【0045】即ち、2点FFT回路(a)において、 $[X_2(0, 0), X_2(0, 1)]$ の組、 $[X_2(2, 0), X_2(2, 1)]$ の組、 $[X_2(1, 0), X_2(1, 1)]$ 、 $[X_2(3, 0), X_2(3, 1)]$ の組が順に入力され、 $[X_3(0, 0), X_3(0, 1)]$ の組、 $[X_3(2, 0), X_3(2, 1)]$ の組、 $[X_3(1, 0), X_3(1, 1)]$ 、 $[X_3(3, 0), X_3(3, 1)]$ の組が順に出力される。

【0046】2点FFT回路(b)において、 $[X_2(4, 0), X_2(4, 1)]$ の組、 $[X_2(6, 0), X_2(6, 1)]$ の組、 $[X_2(5, 0), X_2(5, 1)]$ の組、 $[X_2(7, 0), X_2(7, 1)]$ の組が順に入力され、 $[X_3(4, 0), X_3(4, 1)]$ の組、 $[X_3(6, 0), X_3(6, 1)]$ の組、 $[X_3(5, 0), X_3(5, 1)]$ の組、 $[X_3(7, 0), X_3(7, 1)]$ の組が順に出力される。

(5, 1)], [X2(7, 0), (7, 1)]の組が順に入力され、[X3(4, 0), X3(4, 1)]の組、[X3(6, 0), X3(6, 1)]の組、[X3(5, 0), X3(5, 1)], [X3(7, 0), X3(7, 1)]の組が順に出力される。

【0047】

【発明の効果】本発明によれば、フーリエ変換を行う並列度をFFT点数と必要とする処理速度の関係により柔軟に並列度を定めることが可能になる。そのため、FFT点数Nの大きいフーリエ変換において、並列度として $N^{1/2}$ の程度は必要とはしないが並列度2では対応しきれないようなデータを処理する場合に無駄のない装置構成を設定することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成を示す図である。

【図2】本発明の実施例を示す図である。

【図3】本発明の前段部における入力処理を示す。

【図4】従来の多点並列FFTの構成を示す図である。

【図5】バタフライ回路を示す図である。

【図6】16点基数2FFTパイプラインの流れ図(1)である。

【図7】16点基数2FFTパイプラインの流れ図

(2)である。

【図8】16点基数2FFTパイプラインの流れ図(3)である。

【図9】16点基数2FFTパイプラインの流れ図(4)である。

【図10】基数2FFTパイプラインの構成(1)を示す図である。

【図11】基数2FFTパイプラインの構成(2)を示す図である。

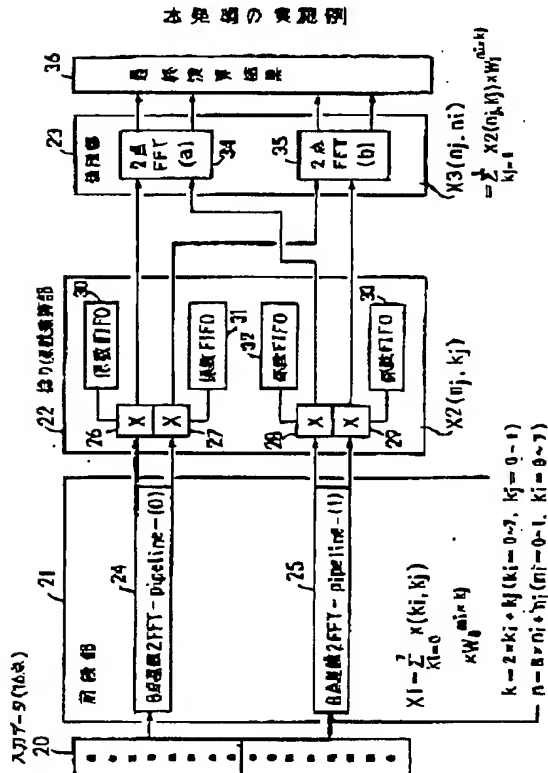
【図12】基数2FFTパイプラインの動作説明図(1)である。

【図13】基数2FFTパイプラインの動作説明図(2)である。

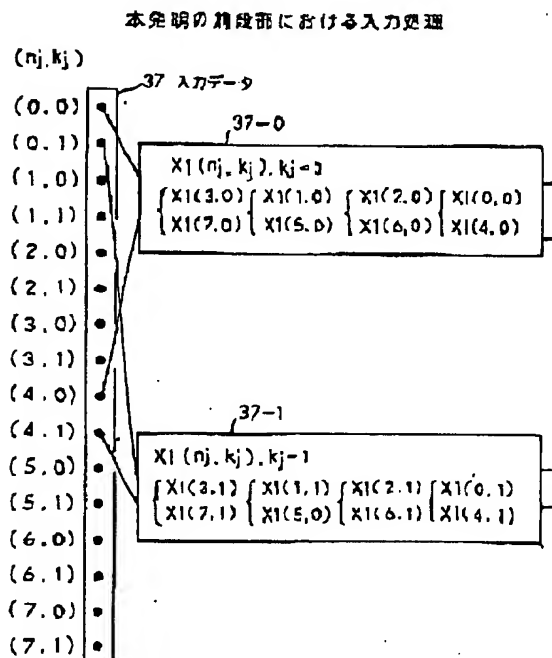
【符号の説明】

- 1 入力データ
- 2 前段部
- 3 乗算部
- 4 後段部
- 5-0~5-(a-1) m点基数2FFTパイプライン
- 7~8 a点FFT回路
- 9 最終演算結果。

【図2】

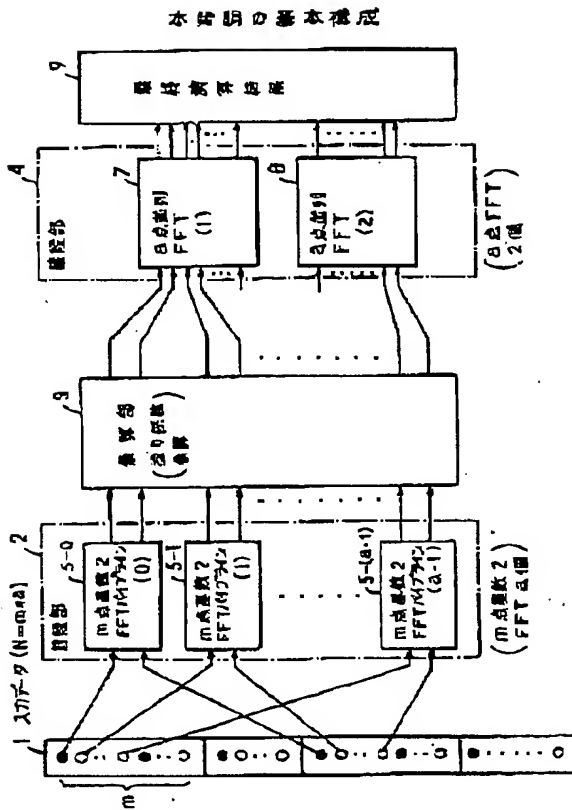


【図3】

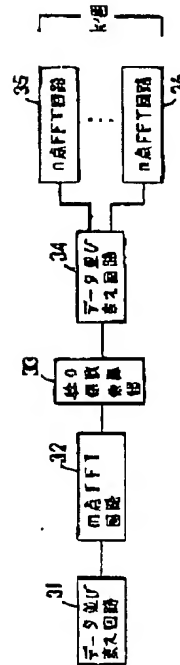




【図1】

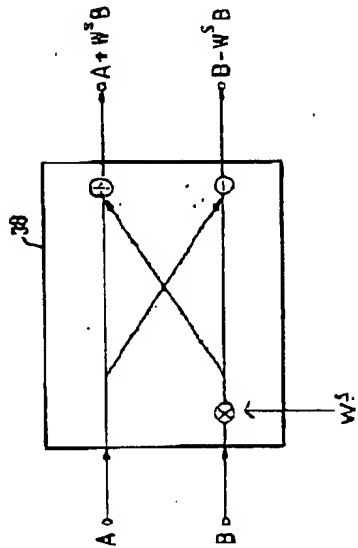


【図4】

従来の $m$ 点FFTの構成を示す図

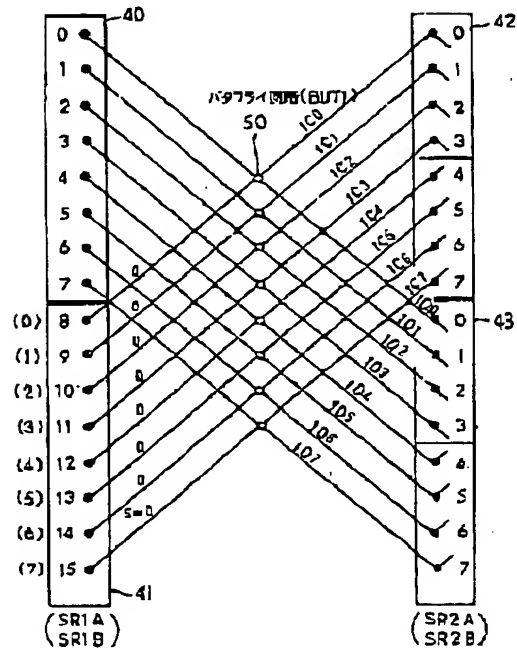
【図5】

バタフライ回路



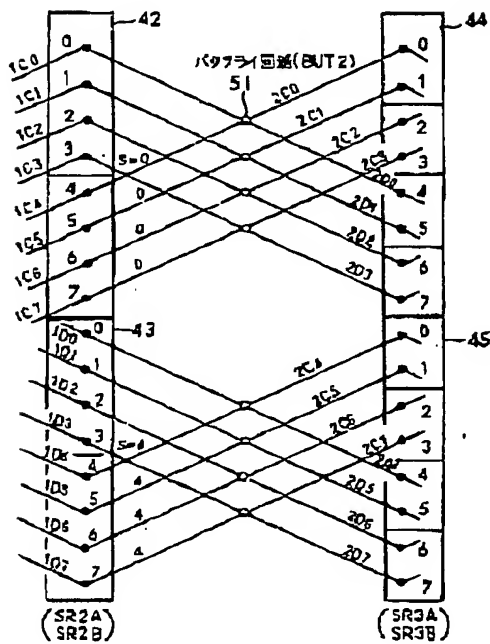
【図6】

16点基2FFTパイプラインの流れ図(1)



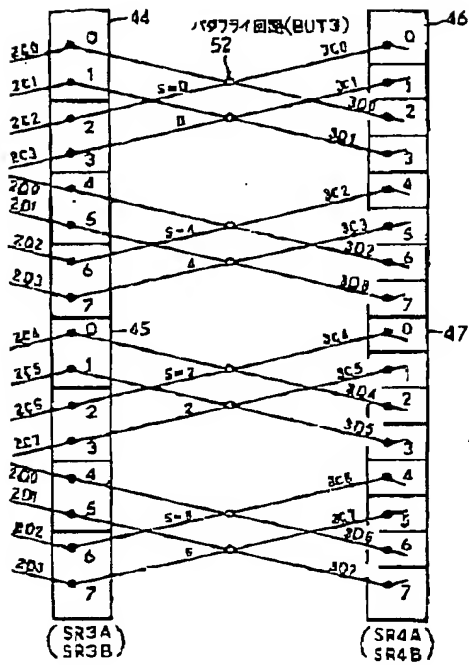
【図7】

基2FFTパイプラインの流れ図(2)



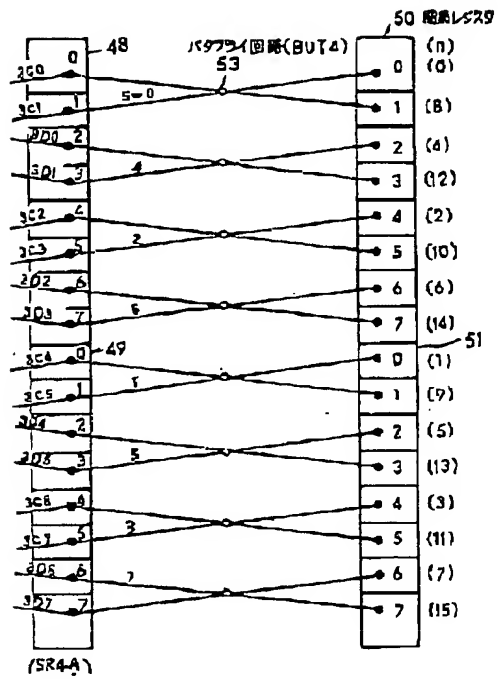
【図8】

基数2 FFT バイフラインの接続図 (3)



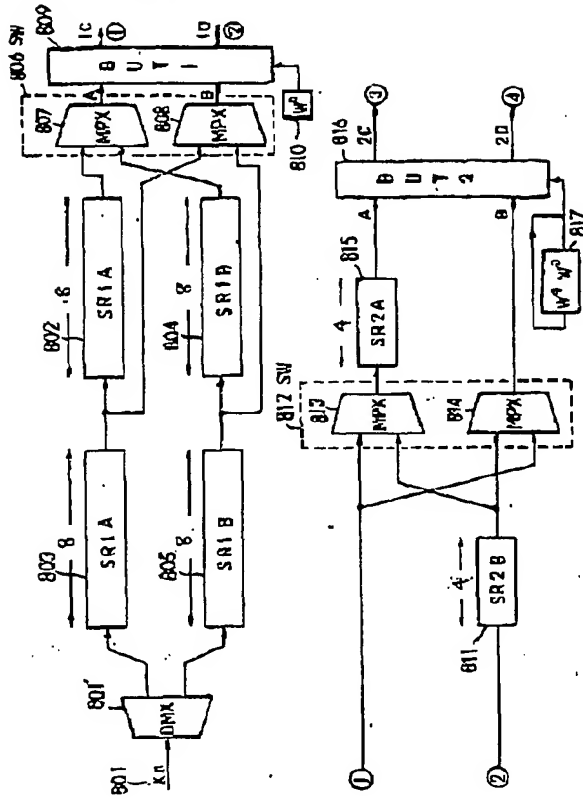
【図9】

基数2 FFT バイフラインの接続図 (4)



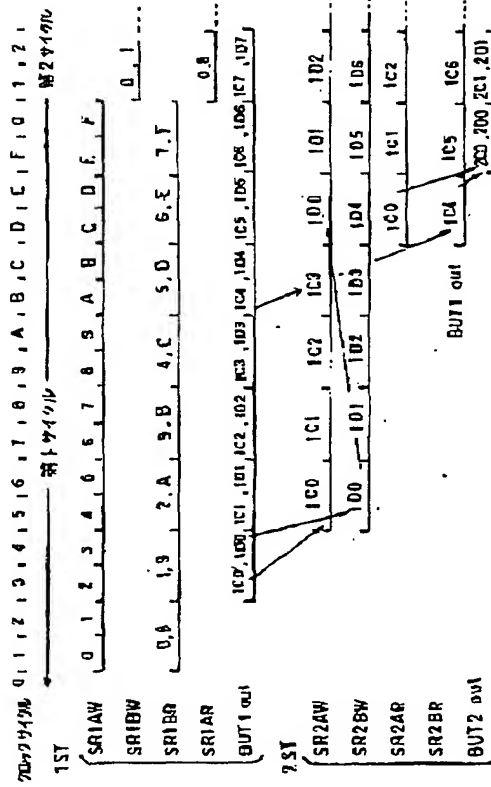
【図10】

基波2FFTパイプラインの構成 (1)



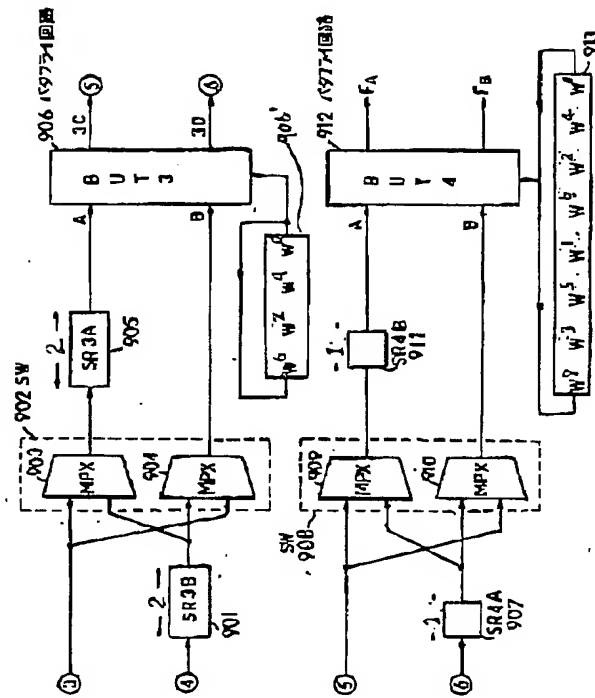
【図12】

基波2FFTパイプラインの動作説明図 (1)



【図11】

基数2 FFTパイプラインの構成 (2)



【図13】

添数2FFTバイプライン動作説明図(2)

